

# Identifikasi Mineral pada Material Perekat Benteng Purba di Kawasan Aceh Besar Menggunakan XRD

## *Mineral Identification of Adhesive Material using XRD for Ancient Fortress Located at Aceh Besar*

Nurul Fitri, Elin Yusibani\*, Evi Yufita

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Unsyiah

*Received December, 2016, Accepted April, 2017*

*Studi lanjut kandungan material perekat pada tiga benteng purba di kawasan Aceh Besar, yaitu Benteng Indrapatra (BIP), Benteng Inong Balee (BIB), dan Benteng Kuta Lubok (BKL) telah dilakukan menggunakan X-Ray Diffraction (XRD). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis mineral yang terkandung di dalam material perekat pada benteng purba tersebut. Identifikasi awal menggunakan XRF menunjukkan bahwa unsur yang paling dominan yang terkandung dalam material perekat benteng purba di kawasan Aceh Besar adalah unsur kalsium dan diduga sebagai unsur penyusun dari senyawa batu kapur. Hal ini didapatkan berdasarkan pencocokan dengan komponen penyusun batu kapur dari lima daerah yang berbeda di Sumatra. Hasil uji XRD diperoleh mendukung hasil XRF sebelumnya bahwa benteng purba di kawasan Aceh Besar menggunakan material perekat dari batu kapur yang berjenis Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ).*

*Study about adhesive material in the three ancient fortress at Aceh Besar, namely Fortress Indra patra (BIP), Inong Balee (BIB), and Kuta Lubok (BKL) has been done using X-Ray Diffraction (XRD). Preliminary study has been done by investigating the compound material on adhesive material use XRF indicate that the major elements in the adhesive material forts in Aceh Besar is Calcium. This element of Calcium suspected as the composer of limestone, it is based on matching with the composition of limestone from five different areas in Sumatra. The result of XRD in consistent with the result of XRF that ancient fort in Aceh Besar district uses an adhesive material of Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ).*

**Keywords:** Benteng purba, material perekat, X-Ray Diffraction (XRD), batu kapur Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ).

### Pendahuluan

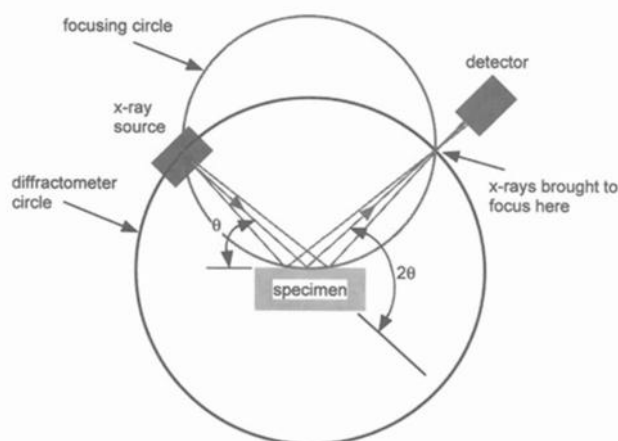
Benteng-benteng purba di kawasan Aceh Besar memiliki kekuatan yang cukup baik, hal ini dibuktikan dengan kemampuan benteng-benteng purba tersebut bertahan hingga saat ini. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat Aceh pada zaman dahulu kala telah memiliki teknologi yang cukup baik dalam pembuatan sebuah benteng untuk pertahanan. Perkembangan perekatan pada bangunan dimulai pada akhir kurun abad ke-18 dengan mencampurkan bahan-ikat dan pengeras mortar. Namun berdasarkan sejarah diketahui bahwa masyarakat Aceh telah mengetahui teknik perekatan untuk pembuatan bangunan (benteng) sejak abad ke-6 M (Hermansyah dan Nasruddin, 2013). Berdasarkan uraian di atas maka teknik perekatan bangunan menjadi kajian yang menarik untuk diteliti

yakni material perekat apakah yang digunakan pada bangunan benteng purba tersebut. Penelitian sebelumnya telah dilakukan identifikasi material perekat pada tiga benteng purba yang terletak di kawasan Aceh Besar menggunakan X-Ray Fluorescence (XRF). Dari hasil penelitian melalui uji XRF menunjukkan bahwa ketiga benteng tersebut memiliki kandungan senyawa oksida yang sama dengan persentase  $\text{CaO}$  sebanyak 46,16-51,37%,  $\text{SiO}_2$  sebanyak 2,56-6,68%,  $\text{MgO}$  sebanyak 1,01-2,16%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sebanyak 0,73-1,18%, dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sebanyak 0,53-0,70%. Senyawa-senyawa tersebut merupakan komposisi penyusun dari batu kapur. Hasil tersebut dibandingkan dengan material perekat yang digunakan saat ini (Semen) didapatkan memiliki komposisi yang berbeda. Semen mengandung komposisi oksida  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{SO}_3$  yang

lebih banyak daripada material perekat pada benteng purba yaitu sebesar 18% dan 3% untuk sampel sebanyak 1 gr (Fitri, N dkk., 2016). Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk melihat kandungan mineral yang ada.

### Metodologi

Sampel benteng purba diambil dari tiga tempat di kawasan Aceh Besar yaitu sampel BIP dari desa Ladong, sampel BIB dan BKL dari desa Lamreh. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah sampel yang sama pada penelitian sebelumnya (Fitri, N dkk., 2016). Sampel tersebut kemudian dipecah menggunakan palu menjadi bongkahan-bongkahan kecil, lalu ditumbuk menggunakan mortar. Sampel yang telah ditumbuk diayak menggunakan ayakan 200 mesh lalu dimasukkan ke dalam *planetary ballmill* untuk di milling dengan kecepatan 350 rpm selama 30 menit untuk menghasilkan serbuk yang halus dan homogen. Serbuk tersebut kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD di laboratorium Material jurusan Fisika FMIPA UNSYIAH. Eksperimental geometri yang digunakan dalam metode analisis difraksi diilustrasikan dalam Gambar 1. Terdapat tiga komponen dasar analisis difraksi sinar-X yaitu sumber sinar-X, spesimen, dan detektor sinar-X.

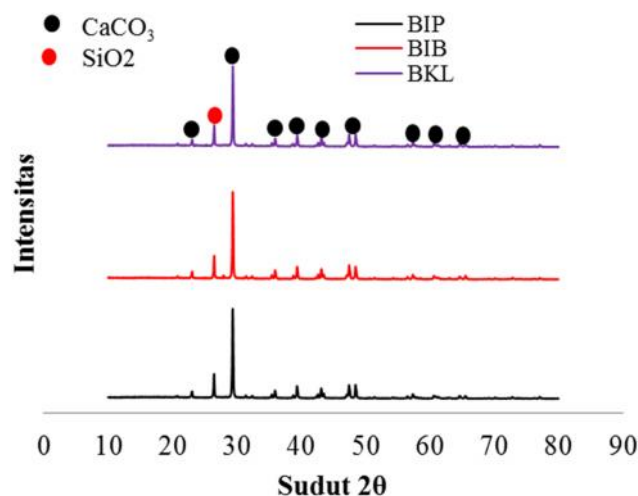


Gambar 1 Geometri dari Difraktometer Sinar-X (Suryanarayana dan Norton, 1998).

### Hasil penelitian

Analisis hasil XRD dilakukan dengan mencocokkan nilai sudut  $2\theta$  hasil eksperimen dengan nilai sudut  $2\theta$  standar dari database JCPDS (*Join Committee on Powder Diffraction Standard*). Gambar 2 Menunjukkan hasil analisis kandungan

material perekat pada benteng purba BIP, BIB dan BKL menggunakan XRD.



Gambar 2 Pola Difraksi Sinar-X Material Perekat pada tiga Benteng Purba

Gambar 2 menunjukkan pola difraksi hasil XRD. Dari gambar tersebut teridentifikasi 10 puncak fasa. Pada setiap karakterisasi untuk semua benteng purba (BIP, BIB, dan BKL) menunjukkan bahwa fasa utama yang terbentuk adalah fasa  $\text{CaCO}_3$  (kalsit) sebagai puncak tertinggi pada sudut  $29^\circ$ , diikuti dengan 8 puncak fasa minor  $\text{CaCO}_3$  lainnya. Hal ini sesuai dengan teori bahwa kristal kalsit mempunyai  $2\theta$  tertinggi yaitu  $29^\circ$  dan indeks miller 104 (Khaira, 2011). Selain itu, pada grafik ditunjukkan juga bahwa puncak tertinggi kedua yang terbentuk adalah fasa  $\text{SiO}_2$  (Silika) pada sudut  $26^\circ$ . Hasil XRD yang diperoleh mendukung hasil XRF bahwa ketiga sampel benteng purba (BIP, BIB, dan BKL) di kawasan Aceh Besar menggunakan perekat batu kapur jenis Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ).

Tabel 1 Perhitungan ukuran kristal Benteng di kawasan Aceh Besar

Nama Benteng	Parameter Pengukuran Bidang Kristal		
	FWHM ( $^\circ$ )	$\frac{0.943}{\sin \theta \cos \theta}$	Ukuran kristal (nm)
Benteng Indrapatra	0.14940	14.676	58.03
Benteng Inong Balee	0.14960	14.684	57.95
Benteng Kuta Lubok	0.15940	14.688	54.39

Analisa pelebaran puncak dapat digunakan untuk menghitung ukuran kristal. Ukuran kristal yang kecil akan mengakibatkan pelebaran puncak difraksi. Pelebaran puncak mendeteksi bahwa sampel mengalami deformasi plastis dan distorsi kisi akibat adanya cacat pada material (distorsi kisi)

(Chrisman, 2009). Data hasil perhitungan ukuran kristal benteng di kawasan Aceh Besar dapat diamati dalam Tabel 1.

Berdasarkan tabel dapat dilihat bahwa ketiga benteng memiliki variasi ukuran kristal dengan nilai standar deviasi sebesar 2.08 nm. Ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  yang paling kecil dimiliki oleh material perekat pada Benteng Kuta Lubok (BKL) sebesar 54.39 nm, Benteng Inong Balee (BIB) sebesar 57.95 nm, dan yang paling besar adalah Benteng Indrapatra (BIP) sebesar 58.03 nm. Semakin besar ukuran kristal  $\text{CaCO}_3$  pada material perekat benteng purba akan berbanding lurus dengan kekuatan dari benteng tersebut. Hal ini disebabkan ukuran kristal yang kecil dapat menunjukkan adanya cacat garis berupa dislokasi pada material yang akan menyebabkan timbulnya deformasi plastis pada material. Deformasi dapat menyebabkan timbulnya distorsi sehingga mengurangi keuletan dan menurunkan sifat mekanik suatu material (Chrisman, 2009). Berdasarkan Tabel 1 maka BIP memiliki kekuatan yang paling besar dibandingkan BIB dan BKL. BIP terbukti memiliki kekuatan yang besar karena telah mampu bertahan dalam waktu yang lebih lama dibandingkan benteng BIB dan BKL. Berdasarkan sejarah diketahui bahwa BIP telah dibangun lebih lama yakni sejak abad ke-6 M dibandingkan dengan BKL dan BIB yang dibangun pada abad 16 M. Bangunan BIP masih dapat dilihat hingga saat ini meskipun sebagian besar bangunan benteng sudah ada yang direnovasi. Jika ditinjau dari hasil XRF, maka sesuai dengan analisis ukuran kristal bahwa BIP memiliki kekuatan yang lebih besar daripada bangunan benteng lainnya karena memiliki persentase CaO yang paling besar sebanyak 51.37% dibandingkan material perekat pada BKL sebesar 50.78%, dan material perekat pada BIB sebesar 46.16% (Fitri, N dkk., 2016). Persentase CaO dapat menunjukkan kekuatan dari sebuah benteng. Semakin besar persentase CaO dalam material perekat maka semakin besar kekuatan bangunan (benteng) karena CaO berfungsi sebagai pengontrol kekuatan dan daya tahan bangunan terhadap pelapukan (Duggal, 2008), serta memiliki sifat plastis yang dapat membentuk ikatan yang kuat dengan batuan yang akan direkatkan sehingga mempunyai kekuatan yang baik sebagai mortal (PUBI, 1982). BIB memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan BKL karena material perekat pada BIB ( $\text{CaCO}_3$ ) memiliki ukuran kristal yang lebih besar dibandingkan BKL.

Derajat kristalinitas yaitu besaran yang menyatakan banyaknya kandungan kristal dalam suatu material dengan membandingkan luasan kurva kristal dengan total luasan amorf dan kristal (Nurmawati, 2007). Derajat kristalinitas dihitung dari hasil XRD menggunakan parameter FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dari persamaan 1. Hasil perhitungan nilai derajat kristalinitas dapat dilihat pada Tabel 2.

$$\text{Kristalinitas} = \frac{\text{Fraksi Luas Kristal}}{\text{Fraksi Luas Kristal} + \text{Fraksi Luas Amorf}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2 menunjukkan bahwa sampel benteng di kawasan Aceh Besar bersifat kristal karena nilai perhitungan derajat kristalinitas dari benteng  $\approx 100\%$ . Hasil tersebut sesuai dengan bentuk pola XRD yang dihasilkan dimana puncak yang terbentuk sangat tajam dengan nilai FWHM yang kecil. Pola yang terbentuk bukan kristal tunggal melainkan pola kristalin karena pola yang terbentuk memiliki 2 fasa yaitu fasa  $\text{CaCO}_3$  dan fasa  $\text{SiO}_2$ . Dari hasil perhitungan derajat kristalinitas didapat bahwa fraksi luas amorf yang terbentuk  $\approx 0$ , hal ini didasarkan dari hasil pola difraksi bahwa pola yang terbentuk tidak memiliki luasan amorf.

Tabel 2 Hasil perhitungan nilai derajat kristalinitas

Nama Benteng	Kristal		I	Fraksi luasan amorf	Fraksi luasan kristalin
	$2\theta_1$	$2\theta_2$			
BIP	29.3520	29.3520	5022	Fraksi luas amorf mendekati nilai nol (0)	0
BIB	29.3647	29.3647	4890		0
BKL	29,3765	29,3765	4228		0

Perhitungan derajat kristalinitas membutuhkan fraksi luasan amorf dan luasan kristal. Berdasarkan Gambar 2 didapatkan bahwa pola difraksi dari tiga benteng purba di kawasan Aceh Besar menunjukkan bentuk pola yang sama, dimana tidak adanya luasan amorf yang terbentuk (fraksi luasan amorf  $\approx 0$ ), sehingga hasil perhitungan menunjukkan derajat kristalinitas  $\approx 100$ . Korelasi kekuatan benteng purba di kawasan Aceh Besar berdasarkan nilai derajat kristalinitas tidak dapat ditentukan dikarenakan hasil perhitungan nilai derajat kristalinitas memiliki nilai yang sama  $\approx 100$ .

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil XRD didapatkan bahwa benteng-benteng purba di kawasan Aceh Besar (BIP,

BIB, dan BKL) menggunakan material perekat dari batu kapur jenis Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ). Berdasarkan hasil XRD juga dapat ditentukan bahwa BIP memiliki ukuran kristal yang paling besar dan semua benteng purba tersebut memiliki derajat kristalinitas sebesar 100%.

## Referensi

- Brockmann, W., Paul, L. G., Jurgen, K., Bemhard, S. 2008. *Adhesive Bonding Materials, Applications and Technology*. WILEY-VCH.
- Fitri, N., Elin, Y., Evi, Y. (2016). *Identifikasi Kandungan Material Perekat pada Benteng Purba di Kawasan Aceh Besar Menggunakan XRF*. Journal of Aceh Physics Society (JAcPS). 5 (2), 14-18
- Hermansyah dan Nasruddin. 2013. *Benteng Kesultanan Aceh: Kajian Filologi, Arkeologi, dan Topografi*. Pusat Dokumentasi dan Informasi Aceh (PDIA). Banda Aceh.
- Khaira, K. (2011). *Pengaruh Temperatur dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur terhadap Karakteristik Precipitated Calcium Carbonate (PCC)*. Jurnal Saintek. 3 (1), 33-45. STAIN Batusangkar.
- Plummer, C., and David Mc. 2005. *Physical Geology*, edisi ke tujuh. Wm. C. Brown Publishers. USA.
- Puslitbang Pemukiman. 1982. *Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982)*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Bandung.
- Suharyana. 2012. *Dasar-Dasar Dan Pemanfaatan Metode Difraksi Sinar-X*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Suryanarayana, C., and Grant Norton, M. 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. Plenum Press. New York.
- Tugino. 2010. *Model Kuat Tekan dan Tarik Proporsi Tras Muria Dengan Kapur Untuk Bahan Dasar Mortar*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan. 12, (1), 1-10. Universitas Negeri Semarang (UNNES).